

Année 1937

N°

THESE

628

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

PRUVOST Hippolyte, Louis, Gustave

Né le 21 Septembre 1895 à Fruges (Pas-de-Calais)

Le Risque Electrique

Commentaire du Décret du 4 Août 1935 du
Ministre du Travail concernant la Protection des
Travailleurs dans les Etablissements qui mettent
en œuvre des Courants Electriques.

Président : M. BALTHAZARD, Professeur.

LIBRAIRIE L. RODSTEIN

17, rue Cujas, 17

PARIS (V^e)

1937

Imprimé en Belgique.

Année 1937

N^o

THESE

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'Etat)

PAR

PRUVOST Hippolyte, Louis, Gustave

Né le 21 Septembre 1895 à Fruges (Pas-de-Calais)

Le Risque Electrique

Commentaire du Décret du 4 Août 1935 du
Ministre du Travail concernant la Protection des
Travailleurs dans les Etablissements qui mettent
en œuvre des Courants Electriques.

Président : M. BALTHAZARD, Professeur.

LIBRAIRIE L. RODSTEIN

17, rue Cujas, 17

PARIS (V^e)

1937

LE DOYEN: ROUSSY

I. — PROFESSEURS

MM.

Anatomie	ROUVIERE.
Physiologie... ..	Léon BINET.
Physique médicale	STROHL.
Chimie médicale	POLONOSVKI.
Bactériologie	Robert DEBRE.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générale	BAUDOUIN.
Pathologie médicale... ..	ABRAMI.
Pathologie chirurgicale	CHEVASSU.
Anatomie pathologique	ROUSSY.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale	TIFFENEAU.
Thérapeutique	HARVIER.
Hygiène et médecine préventive	TANON.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LAIGNEL-LAVASTINE.
Pathologie expérimentale et comparée	FIESSINGER
Hydrologie thérapeutique et climatologie	Maurice VILLART.
Clinique médicale	{ LOEPER.
	{ CARNOT.
	{ CLERC.
	{ Marcel LABRE.
Hygiène et clinique de la première enfance	LEREBoullet.
Clinique des maladies des enfants	NOBECOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	H. CLAUDE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses	LEMIERRE.
Clinique chirurgicale	{ CUNEO.
	{ GOSSET.
	{ GREGOIRE.
Clinique ophtalmologique	LENORMANT.
Clinique urologique... ..	TERRIEN.
	MARION.
Clinique d'accouchements	{ BRINDEAU.
	{ COUVELAIRE.
	{ JEANNIN.
Clinique gynécologique	MOCQUOT.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	OMBREDANNE.
Clinique thérapeutique médicale	RATHERY.
Clinique oto-rhino-laryngologique	LEMAITRE.
Clinique thérapeutique chirurgicale	Pierre DUVAL.
Clinique propédeutique	SERGENT.
Clinique de la Tuberculose	BEZANÇON.
Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte	MATHIEU.
Clinique cardiologie	LAUBRY.
Professeurs sans chaire	{ HOVELACQUE.
	{ MULON.
	{ OLIVIER.
	{ VERNE.

II. — AGREGES EN EXERCICE

MM.

AMELINE . . Pathologie chirurgicale.
 BARIETY . . Pathologie médicale.
 BENARD (Henri) . Pathologie médicale
 BERNARD Etienne. Pathol. médicale.
 BEZANÇON (Justin). Hydrologie.
 BOULIN . . Pathologie médicale.
 BULLIARD . Histologie
 CATHALA . . Pathologie médicale.
 CHEVALLIER Pathologie médicale.
 COSTE . . Pathologie médicale.
 DOGNON . . Physique.
 FEY . . . Urologie.
 FUNCK . . Pathologie chirurgicale.
 GALLIARD . Parasitologie.
 GASTINEL . Bactériologie.
 DE GAUDART D'ALLAINES . Patho-
 logie chirurgicale.
 GAYET . . . Physiologie.
 DE GENNES . Pathologie médicale.
 GIROUD . . Histologie.
 HAGUENAU . Pathologie médicale.
 HALPHEN . . Oto-rhino-laryngologie.
 HAZARD . . Pharmacologie.
 HUGUENIN . Anatomie pathologique.
 JOANNON . . Hygiène.
 LACOMME . . Obstétrique.
 LANTUEJOUL Obstétrique.

MM.

LAROCHE (Guy) . Pathologie médicale
 LELONG . . Pathologie médicale.
 LEMAIRE . . Pathologie expérimenta-
 le.
 LEVEUF . . Pathologie chirurgicale.
 Mlle J. LEVY . Pharmacologie.
 LEVY-VALENSI. Neurologie et Psychi-
 âtrie.
 MENEGAUX . Pathologie chirurgicale.
 MOLLARET . Pathologie médicale.
 MOREAU . . Pathologie médicale.
 MOULONGUET. Pathologie chirurgicale
 MOUQUIN . . Pathologie médicale.
 OBERLING . Anatomie pathologique.
 PETIT-DUTAILLIS . Pathologie chi-
 rurgicale.
 PIEDELIEVRE . Médecine légale.
 PORTES . . Obstétrique.
 RENARD . . Ophtalmologie.
 RICHTER . . Physiologie.
 SANNIE . . Chimie biologique.
 SENEQUE . . Pathologie chirurgicale.
 TROISIER . . Pathologie expérimenta-
 le.
 TURPIN . . Pathologie médicale.
 VIGNES . . . Obstétrique.
 WILMOTH . . Pathologie chirurgicale.

III. — AGREGES RAPPELES A L'EXERCICE

pour le service des examens

MM.

ALGLAVE . . Pathologie chirurgicale.
 BUSQUET . . Pharmacologie.
 CHAILLEY-BERT. Physiologie.
 GUENIOT . . Obstétrique.

MM.

LARDENNOIS Pathologie chirurgicale.
 LEROUX . . Anatomie pathologique.
 NEVEU-LEMAIRE. Parasitologie.
 PHILIBERT . Bactériologie.
 VAUDESCAL . Obstétrique.

IV. — AGREGES CHARGES DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE à titre permanent

MM.		MM.	
ALAJOUANINE .	} Clinique médicale	BASSET . . .	} Clinique chirurgicale.
AUBERTIN . . .		BROCC . . .	
BRULE . . .		CADENAT . . .	
CHABROL . . .		GATELLIER . .	
CHIRAY . . .		HEITZ-BOYER .	
DONZELOT . . .		MOURE . . .	
DUVOIR . . .		QUENU . . .	
LIAN . . .		SCHWARTZ . .	
PASTEUR		VELTER . . .	
VALLERY-			
RADOT . . .			
SEZARY . . .			

MM.	
ECALLE . . .	} Clinique obstétricale.
LE LORIER . .	
LEVY-SOLAL .	
METZGER . .	

V. — CHARGES DE COURS

MM.	
CHAILLEY-BERT, agrégé . .	Education physique.
LEDoux-LEBARD . . .	Radiologie clinique.
PHILIBERT, agrégé . . .	Microbiologie.
RUPPE	Stomatologie.
WEIL-HALLE	Puériculture.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A CEUX QUE J'HONORE

A CEUX QUE J'ESTIME

A CEUX QUE J'AIME

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur BALTHAZARD,
Professeur de médecine légale à la Faculté de Paris
Membre de l'Académie de Médecine
Conseiller technique du Service de l'identité judiciaire
Officier de la Légion d'Honneur.

SECTION I.

Art. 1^{er}. — Le champ d'application du décret s'étend aux établissements qui produisent, transforment ou utilisent des courants électriques, mais cette réglementation ne s'applique, en ce qui concerne l'alternatif, qu'aux courants de fréquence industrielle et non aux installations de très haute fréquence (radiologie, ondes hertziennes).

Art. 2. — Classification des installations électriques.

A l'heure actuelle, l'énergie électrique industrielle est surtout représentée par des courants alternatifs dont la fréquence est de 50 périodes par seconde. Le courant continu est toutefois encore utilisé pour l'éclairage de certaines villes, pour l'alimentation des tramways, dans les mines et la métallurgie.

Le décret divise les installations en 3 catégories :

Première catégorie.

A) En continu, les installations dont la plus grande tension entre conducteur et terre ne dépasse pas 600 volts.

B) En alternatif :

B₁) les installations dont la plus grande tension efficace entre conducteur et terre ne dépasse pas 150 volts.

B₂) les installations de 150 à 250 volts.

La tension est la tension simple. Le tréphasé alternatif à 3 ou 4 fils est presque uniquement utilisé. Dans le système à 4 fils, il y a 3 fils de phase et 1 fil neutre qui sert de retour commun aux 3 fils de phase. On distingue 2 sortes de tension ; la tension simple ou tension étoilée V qui existe entre un fil de phase et le neutre et la tension composée U entre 2 fils de phase ($U = V\sqrt{3}$). Dans le système à 3 fils, le neutre est supprimé et chaque fil sert de retour aux 2 autres. Bien qu'il n'y ait pas de conducteur neutre, il peut exister sur les générateurs ou récepteurs de la distribution, ce qu'on appelle un point neutre, tel que la tension entre ce point neutre et chaque fil est la tension simple ; le point neutre peut être isolé du sol ou relié au sol.

Par convention expresse, quand on parle de la tension d'un système triphasé, il s'agit de la tension composée U ; quand on indique 2 tensions la première est la tension simple V , la deuxième la composée U par exemple réseaux à 115-200 volts, 230-400 volts.

Le décret distingue aussi les installations à *très basse tension moins* de 50 volts en continu, 24-42 volts en alternatif considérées comme pratiquement inoffensives.

Deuxième catégorie.

Installations dont la plus grande tension, par rapport à la terre est inférieure à 60.000 volts en continu, 33.000 volts efficaces en alternatif.

Troisième catégorie.

Toutes les autres installations.

Danger d'électrocution suivant les différentes catégories.

Effets physiologiques des courants industriels..

La classification en 3 catégories ne correspond pas à un degré ou risque d'électrocution ; il n'y a pas proportionnalité entre la tension et la gravité de l'accident.

Les effets physiologiques des courants dépendent surtout d'une part de l'intensité du courant qui traverse l'individu et d'autre part du chemin suivi par ce courant dans le corps ; c'est la résistance du corps humain qui varie elle-même dans des proportions considérables, qui détermine la valeur de l'intensité.

Rôle de l'intensité dans l'électrocution. Deux théories sont en présence. La théorie bulbaire (d'Arsonval, 1887) attribue la mort par électrocution à une inhibition des centres bulbaires dont le principal effet est l'arrêt respiratoire et l'asphyxie d'où la règle formulée par d'Arsonval : un électrocuté doit être traité comme un noyé c'est-à-dire par la respiration artificielle.

La théorie cardiaque basée sur des essais faits sur l'animal (Prévost et Batelli, Weiss) attribue la mort à la fibrillation ventriculaire. D'après ces auteurs, quand le courant passe par la région du cœur (décharge entre deux mains ou entre une main et un pied, on peut distinguer quatre actions possibles du courant suivant l'intensité :

1) Les courants de moins de 1 m. A. sont inoffensifs et peu douloureux.

2) De 1 à 50 mA, le courant peut produire l'asphyxie lente de la victime, avec le danger très grave que la contraction musculaire peut empêcher la victime de se dégager du con-

ducteur ; mais, l'asphyxie est lente et l'individu qui est en état de mort apparente, peut être ramené à la vie par la respiration artificielle.

3) Au-delà de 50 m. A, limite pouvant être abaissée un peu au-dessous ou s'élever aux environs de 100 m A, jusqu'à une intensité ne dépassant pas quelques ampères, la mort survient par arrêt du cœur (théorie cardiaque) très rapidement, au bout de quelques secondes.

4) Pour des intensités relativement élevées, de l'ordre de quelques ampères, il n'y a plus d'arrêt du cœur ou tout au moins il n'est pas définitif, la respiration artificielle peut ramener l'individu à la vie. D'ailleurs une intensité aussi élevée entraîne obligatoirement des brûlures aux points de résistance plus grande (effets Jovle), sur la peau en particulier.

La fréquence des morts cardiaques ou bulbaires est diversement appréciée. Se fondant sur leurs expériences, Naville et Morsier considèrent la mort cardiaque comme le type courant. Au contraire, Jellinek, Simonin comme d'Arsonval et Balthazard pensent qu'elle est l'exception et que souvent la mort est due à la tétanisation des muscles respiratoires. Pour la plupart des médecins « le danger n'est pas au cœur, mais au poumon » (Simonin.)

Le Docteur Jellinek, ancien élève de d'Arsonval et le Docteur Zimmern, sans nier la possibilité dans certains cas de la mort par électrocution par arrêt du cœur, prétendent que la théorie cardiaque est présentée d'une façon trop systématique et trop précise et estiment qu'il est préférable de revenir à la théorie de l'asphyxie. Ils font ressortir qu'il n'est pas correct d'appliquer à l'homme les conclusions déduites d'essais sur les chiens ; en particulier les trémulations fibrillaires du

cœur, qui sont définitives chez le chien, ne semblent pas l'être d'une façon aussi nette chez le singe ou l'homme et le Docteur Jellinek signale le cas où il a pu ramener au fonctionnement normal un cœur humain soumis à des trémulations fibrillaires.

Jellinek insiste sur ce fait que, si nombre de victimes meurent par paralysie primaire du cœur ; la grande majorité des autopsies a démontré que les victimes ont succombé ou à une paralysie primaire du cerveau ou à une asphyxie primaire, le cœur n'ayant suivi que secondairement dans ces deux catégories de mort. Il indique également que le passage du courant dans le corps humain produit généralement une augmentation du liquide céphalo-rachidien et que la cessation de ce courant développe une hypertension artérielle, ces deux troubles fonctionnels pouvant amener la mort, sans qu'il soit nécessaire d'invoquer l'arrêt du cœur.

D'autre part, Jellinek insiste également sur le fait que, les individus réagissent de façon bien différente au courant électrique : un courant très supérieur à celui qui est mortel pour un individu, peut n'être pas dangereux pour un autre individu. Pour le même individu d'ailleurs, les courants dangereux dépendent de diverses circonstances : ainsi le danger est plus grand pour celui surpris par la décharge que pour celui qui s'y attend ; il l'est moins pour un sujet endormi que pour un sujet en dehors du sommeil, etc...

Ces auteurs font en même temps remarquer que le courant traversant la région cardiaque doit amener probablement un arrêt de fonctionnement de l'ensemble du système nerveux qui commande aussi bien la respiration que les mouvements du cœur et que les deux phénomènes, asphyxie et arrêt du cœur,

peuvent se produire simultanément. Il est difficile de trancher le débat, mais on ne doit pas oublier que la théorie cardiaque se basant sur des faits expérimentaux sur les chiens a pu permettre d'établir une démarcation nette entre les différentes intensités dangereuses ; d'autre part l'expérience de l'électrocution pénale en Amérique semble confirmer ces conclusions. En appliquant d'abord une tension de l'ordre de 2.000 volts entre deux électrodes de large dimension, placées l'une sur le cou et l'autre au bas des reins, les Américains observèrent presque chaque fois, que la victime supportait le passage du courant pendant plusieurs minutes sans dommage important autre que des brûlures plus ou moins graves et revenait à la vie dès que le courant était supprimé ; si au lieu de 2.000 volts on employait une tension de l'ordre de 200 volts, la victime était immédiatement électrocutée (on passait du cas 4 au cas 3 comme indiqué page 10).

En définitive, dans l'impossibilité où nous sommes généralement de savoir si chez l'électrocuté, la mort est apparente ou réelle, il faut suivant les prescriptions très judicieuses de Jellinek conserver l'axiome énoncé par d'Arsonval et traiter l'électrocuté comme un noyé ; mais il est très important de définir une intensité de courant voisine de la limite où commence le danger grave pour l'individu normal ; cette intensité, semble être pour les courants alternatifs qui traversent la région du cœur, de l'ordre de 50 m A que l'on peut abaisser à 25 m A si on veut une plus grande et parfaite sécurité.

Effets physiologiques du courant continu.

L'opinion généralement admise est que le courant continu a des effets *moindres* que l'alternatif.

D'abord l'effet du courant en alternatif dépend plus de l'intensité maximum I_{Max} que de l'intensité efficace du courant I_{eff} :

$$I_{\text{Max}} = I_{\text{eff}} \sqrt{2}$$

d'autre part le corps humain présente de la capacité, d'où en alternatif, un courant de capacité s'ajoutant au courant de résistance. En outre en courant continu, il y a des phénomènes de polarisation dans les tissus de l'organisme engendrant une force contre-électromotrice E' , le corps se comportant alors comme un véritable accumulateur électrique et l'intensité du courant est donnée pour une tension E par :

$$E = E' + RI$$

R résistance du corps.

La commission Weiss indiquait qu'il fallait une intensité en continu 4 fois plus forte pour obtenir les mêmes effets qu'en alternatif soit 100 m A (continu) contre 25 m A (alternatif).

Il faut cependant remarquer que l'électrolyse due au courant continu peut amener des troubles importants susceptibles d'entraîner des maladies graves, avec issue fatale dans certains cas, alors que la victime, qui a échappé au courant alternatif, semble n'avoir plus rien à craindre pour l'avenir.

Récemment on s'est aperçu que dans les installations où le continu est obtenu aux moyens de redresseurs à mercure, les effets physiologiques sont plus intenses qu'à l'ordinaire; en particulier, la tendance pour une victime à rester crispée aux fils qu'elle a touchés est notablement plus marquée, à tension égale. Il semble qu'on puisse attribuer cette aggravation à la présence, dans la tension fournie par les redresseurs, d'ondulations de petite amplitude, mais d'allure très brusque.

Résistance électrique du corps humain.

Les effets physiologiques du courant dépendent surtout de l'intensité, alors que dans la plupart des cas, c'est la tension appliquée à la victime qui est fixée par la nature de l'installation, la résistance du corps humain se trouve jouer un rôle fondamental dans les phénomènes d'électrocution.

La résistance du corps humain est la somme de 3 résistances en série :

1°) la résistance de contact, à l'entrée du courant, entre la victime et le conducteur actif touché ;

2°) la résistance propre du corps lui-même qui dépend du chemin suivi par le courant ;

3°) la résistance de contact entre le corps humain et la sortie du courant, généralement le sol.

La résistance du corps humain proprement dite, c'est-à-dire la résistance offerte par les éléments conducteurs présents dans l'organisme est d'une valeur relativement faible, de l'ordre de 200 ohms entre les membres supérieurs et inférieurs.

La partie la plus importante de la résistance du circuit fermé par la victime réside dans les résistances de contact, tant à l'entrée qu'à la sortie du courant. Ces résistances de contact ne sont pas, à proprement parler, des résistances ohmiques, dont la valeur soit indépendante du courant ; elles dépendent dans des proportions notables, de la tension appliquée et elles sont vraisemblablement plus faibles en haute tension qu'en basse tension, en courant alternatif qu'en courant continu. Au point de vue des accidents d'électrocution, leur importance se fait souvent sentir en basse tension alternative : Un des contacts les plus fréquents est celui d'une main

avec un fil ou une pièce conductrice sous tension ; la résistance correspondante varie dans des proportions considérables, d'après l'importance de la surface de contact, d'après la nature du tégument externe de la peau (peau calleuse, peau lisse) et d'après le degré d'humidité de cette surface extérieure avec présence possible d'un électrolyte plus ou moins concentré. Les chiffres donnés pour ces résistances de contact par divers auteurs sont assez différents, mais restent toutefois dans des ordres de grandeur assez définis et intéressants à connaître.

D'après Kouwenhoven et Langworthy, la résistance de contact offerte par la paume calleuse d'une main d'ouvrier peut atteindre 100.000 ohms/cm² tandis que pour une main douce et humide elle peut descendre à 1.200 ohms/cm². A la suite d'essais effectués pour la sélection du personnel utilisé dans les installations de traction électrique des chemins de fer du Midi, le médecin général Uzac a donné des chiffres desquels on peut déduire que la résistance de contact de la paume de la main avec un conducteur métallique peut varier, suivant les sujets et les conditions d'humidité, de 5.000 jusqu'à 130 ohms/cm² sous une pression maintenue constante. On voit donc, d'après ces chiffres que la résistance de contact du corps humain peut varier depuis plus de 100.000 ohms (main calleuse, avec surface de contact inférieur à 1 cm²) jusqu'à quelques centaines d'ohms pour des contacts de plus grande surface, avec des mains lisses et humides.

Les chiffres déduits des essais du docteur Uzac sont peut être un peu faibles, la plupart des auteurs s'accordant à reconnaître que la résistance de contact peut descendre dans des conditions particulières, à environ 500 ohms. Entre des

électrodes de 2 cm de diamètre, serrées dans les mains, Weber est arrivé aux valeurs suivantes : Mains sèches, sous un courant de 14 mA, 5740 à 2150 ohms, soit, par contact, en déduisant 200 ohms pour l'intérieur du corps, 2770 à 975 ohms; entre mains humectées d'eau de pluie, 3200 à 1800 ohms soit par contact, 1500 à 800 ohms; avec mains imbibées d'une solution de soude et courant de 10 mA, 2400 à 1380 ohms, soit, par contact 1.100 à 590 ohms.

Il est probable que, pour des sujets particulièrement conducteurs, ces chiffres peuvent encore être abaissés. Lorsque, ce qui est fréquent, le second contact s'établit entre les pieds et le sol, la résistance varie beaucoup avec la nature des chaussures et l'état du sol.

Des chaussures avec semelles sèches et épaisses, cousues avec du fil, peuvent opposer une résistance de 50.000 ohms, alors que la présence de chevilles métalliques traversant ces semelles diminue considérablement la résistance et que, pour une chaussure humide sur un sol contenant des électrolytes, la résistance peut tomber à une valeur extrêmement faible, de l'ordre d'une centaine d'ohms.

On peut donc résumer ces chiffres en disant que la résistance du corps humain pour un ouvrier à mains calleuses et sèches d'une part et porteur de bonnes chaussures, sur un sol sec peut atteindre et dépasser 200.000 ohms, alors que pour les mains moites et lisses et la chaussure mince et humide, sur un sol très conducteur (imprégné d'électrolytes) la résistance totale peut descendre à 500 ohms et même au-dessous.

Dans la plupart des cas, les contacts sont généralement mauvais, sauf dans des conditions spéciales, et on peut ad-

mettre que la résistance du corps humain ne descend au dessous de 2000 ohms que dans des cas très particuliers envisagés plus loin. Ainsi quand le corps est plongé dans une baignoire la résistance tombe à 750 ohms, le danger commence à partir de 20 volts.

Risque d'électrocution d'après les différentes installations.

Les installations de première catégorie, surtout à courant alternatif B₁ et B₂, sont celles qui provoquent le plus d'accidents mortels, par le fait même qu'elles sont plus répandues que les installations à haute tension, qu'elles sont plus à la portée du public et également aussi parce que l'on ne se méfie pas suffisamment des dangers qu'elles présentent et qu'on ne prend pas assez de précautions.

Installations de lière catégorie.

Si on table sur un courant dangereux, pour les individus normaux de 50 m A, avec une résistance du corps humain descendant à 500 ohms, on voit que le seuil du danger correspondrait à 25 volts. Dans des conditions normales, la tension simple de 115 volts fréquemment utilisée aboutit avec une résistance du corps humain de 5.000 ohms à un courant de 23 m A, qui, pour les individus normaux ne présente pas de danger mortel, à moins d'être soutenu pendant un temps prolongé, par exemple par suite de crispations de la victime ne pouvant se détacher du contact accidentel.

Comme la résistance de 5.000 ohms, correspond à des conditions de contact meilleures que celles qui sont généralement réalisées lorsqu'un individu touche par mégarde un conduc-

teur sous tension, on voit que le contact d'une personne avec une distribution 115-200 volts, dans les conditions courantes, ne produit généralement que des secousses plus ou moins désagréables, sans entraîner de danger de mort; par contre cette tension de 115 volts peut provoquer l'électrocution dans des cas où la résistance du corps humain tombe à une valeur de 2000 à 1000 ohms, ou même plus faible encore, ce qui se produit dans un certain nombre de cas classiques rappelés ci-dessous.

Le cas le plus dangereux est celui d'une personne plongée dans une baignoire et venant, avec une de ses mains, à toucher un conducteur sous tension; dans ces conditions, la résistance du corps se trouve évidemment particulièrement réduite et, la main étant également humide, cette résistance doit atteindre les valeurs les plus faibles que l'on puisse enregistrer, de l'ordre de quelques centaines d'ohms; la tension courante de 115 volts entraîne inévitablement l'électrocution.

Le risque électrique existe également dans les cas suivants: Individus ayant les pieds en contact franc ou presque franc, avec un sol conducteur, tels que *ouvriers travaillant dans un réservoir métallique* (chaudières par exemple, voir observation n° 11), *ouvriers d'une usine électrochimique*, *paysans avec pieds ou chaussures humides reposant sur le sol d'une étable ou d'une écurie remplie de purin*, etc... Lorsqu'un individu, dans ces conditions, vient à serrer avec une pression suffisante un conducteur sous tension, par exemple en manœuvrant un interrupteur à poignée métallique, accidentellement mise sous tension, en serrant une douille de lampe ou un cadre métallique de lampe baladeuse, ou le manche métal-

lique d'un outil électrique portatif, etc... il se trouve fatalement électrocuté, même sous une tension de 115 volts.

Un cas un peu différent, qui s'est cependant produit quelquefois est celui des électrocutions entre les deux mains, par exemple dans le cas d'une cuisinière qui manœuvre d'une main un robinet de conduite d'eau et qui, de l'autre main, touche avec bon contact une pièce métallique sous tension, par exemple interrupteur à poignée métallique, appareil de ménage, tel que fer à repasser, dans lesquels, accidentellement, une communication s'est établie entre la masse et le fil sous tension. Et depuis la vogue des appareils de T.S.F., électrocution entre les 2 mains en prenant la broche mâle d'une prise de courant pour la brancher sur le poste alors que par inadvertance l'autre main touche la borne terre ou la masse du poste; d'où cette prohibition nécessaire des prises de courant amovibles avec 2 prises mâles aux extrémités, la prise mâle doit être sur le poste de T. S. F. Enfin on peut citer le contact accidentel avec une lampe, la victime étant debout dans une galerie humide.

Dans tous les autres cas de contact accidentel, sans pression, ni surface de contact importantes, alors que les pieds reposent sur un sol sec, ou bien lorsque les pieds sont suffisamment isolés du sol, par exemple dans les appartements avec parquet en bois, ou lorsque l'individu a des chaussures bien sèches, sans chevilles métalliques, ou mieux des semelles de caoutchouc, la tension, même de 230 volts, fréquemment utilisée depuis quelques années dans les réseaux ruraux ne provoque qu'une secousse insignifiante, parfois même insensible.

On comprend aisément que ces réseaux nouveaux à 230

volts, dits 230-400 volts, présentent des dangers beaucoup plus grands que ceux dits à 115-200 volts, parce qu'ils entraînent l'électrocution avec une résistance double des précédents et que par conséquent, le danger de mort s'étend, avec ces réseaux, à des cas beaucoup plus nombreux de contact qui, dans les réseaux à 115 volts, se traduisent seulement par des secousses désagréables. Il y a donc lieu de tenir compte très sérieusement de cette différence dans les précautions à prendre contre les dangers d'électrocution des réseaux 230-400 volts (classés catégorie B₂). Au delà de la tension 250-430 volts, on entre dans les 2^{ième} ou 3^{ième} catégories, qui sont en général, relativement peu accessibles au public, mais seulement au personnel spécialisé.

Installations de 2^{ième} et 3^{ième} catégories.

Les tensions composées normales de 2^{ième} catégorie sont 1000 volts, 3200, 5500, 10.000, 15.000, 22.000, 30.000; mais il existe beaucoup d'installations à tensions intermédiaires ou voisines de celles-là; toutefois les tensions comprises entre 500 volts et 3000 volts sont très utilisées.

Les accidents provoqués par ces installations frappent le plus souvent le personnel spécialisé. Par suite de la grande valeur de la tension à partir de 3000 volts, la résistance du corps humain, est en général insuffisante pour limiter le courant à une valeur non dangereuse. Pour ces grandes valeurs de l'intensité, le courant produit des blessures électriques (marques électriques) différentes des brûlures ordinaires par le feu ou les agents chimiques. Alors que toute brûlure est suivie des signes de l'inflammation, rougeur, infiltration excentrique, exsudation de sérosité, suppuration et fièvre,

l'aspect de la marque électrique est en général tout différent. C'est une nécrose plus ou moins étendue, plus ou moins profonde, mais sans exsudation, sans rougeur du pourtour, sans douleur, sans fièvre, sans tendance à la suppuration. Plus tard, la cicatrice est molle, souple et ne présente pas les tendances chéloïdiennes des cicatrices des brûlures. L'examen histologique montre des éléments cellulaires aplatis, momifiés comme par une action brutale de dessiccation et de coagulation en profondeur.

Au pourtour, il n'y a pas de congestion vasculaire, pas d'infiltration leucocytaire. Le tissu de bourgeonnement n'apparaît que tardivement. L'absence de réaction inflammatoire rend compte de l'extrême lenteur de la réparation, mais elle explique d'autre part, la rareté des complications infectieuses : phlegmons, lymphangites, arthrites suppurées, septicémie. (*Presse Médicale* n° 53. 4 Juillet 1928). Le traitement des blessures électriques doit être surtout « conservateur ». L'amputation immédiate des membres carbonisés sera très rarement indiquée. Il faut savoir attendre que la nature ait tracé une démarcation entre tissus sains et tissus carbonisés (*Presse Médicale* n° 74 du 14 Septembre 1935. M. Stassen (Liège) page 1439).

D'après Jellinek également, les marques électriques si profondes qu'elles soient, ne doivent pas être opérées : toute opération, en pareil cas, a des chances de constituer une mutilation inutile et dangereuse. Rien n'illustre mieux les conseils de Jellinek que le cas dont il rapportait et figurait l'évolution au Congrès de médecine légale de Lyon. Un ingénieur avait été frappé par un courant de 45.000 volts dans la région du coude droit. La plaie était si profonde que, cinq semaines plus

tard, après la chute de l'escarre, l'articulation du coude était largement ouverte, montrant à nu les cartilages. Cependant, il n'y avait ni réaction inflammatoire, ni fièvre, ni troubles généraux, les surfaces articulaires étaient polies, nettes, sans arthrite. Quelques semaines plus tard, le tissu de granulation commençait à remplir la cavité. Au bout de 6 mois, la cicatrisation était achevée et les mouvements du coude avaient repris une amplitude de 85°.

Dans un grand nombre de circonstances, on a constaté que des accidents de haute tension n'entraînaient pas la mort de la victime qui pouvait être rappelée à la vie très rapidement par la méthode de la respiration artificielle; cette innocuité possible des courants d'intensité de quelques ampères a été signalée précédemment ; il y a lieu de rappeler à ce sujet les expériences réalisées sur des chiens au laboratoire central d'électricité en 1909 et 1910 par le Docteur Weiss : si l'on augmente dans de grandes proportions l'intensité du courant, l'arrêt du cœur arrive d'abord de plus en plus rapidement, au bout de 2 à 3 secondes pour 0,500 ampère ; puis, pour des valeurs de l'intensité de 6 à 8 ampères, l'arrêt du cœur ne se produit plus et la respiration reprend dès que le courant cesse.

Autres effets du courant électrique.

A côté des lésions cutanées « marques électriques » il faut citer les lésions musculaires, les lésions osseuses l'os est fragmenté comme une glace « sécurit » brisée, les lésions cardiaques les altérations vasculaires se traduisant par des thromboses pariétales, qui exposent à des embolies et par une fragilité vasculaire qui explique la fréquence des hémorragies secondaires, souvent même très tardives ; ces lésions vasculai-

res rendent périlleuses les ligatures, qui, fréquemment coupent les parois et sont à l'origine, d'hémorragies post-opératoires.

En outre, il faut noter des spasmes du pharynx, les spasmes gastriques et vésicaux, l'albuminurie, les lésions des yeux et de l'organe de l'audition. Quelquefois il y a prédominance des phénomènes cérébraux (raideurs, phénomènes convulsifs, confusion mentale, délire), dans ces cas l'autopsie montre un état œdème cérébral avec congestion des hémisphères et des méninges.

Souvent dans l'électrocution, on note une augmentation de la tension artérielle qui, avec les altérations vasculaires et vaso-motrices, peut expliquer l'hypertension céphalo-rachidienne qu'on constate fréquemment.

On doit signaler comme assez fréquentes également les lésions des nerfs : altération du nevrilemme et du cylindre-axe.

Art. 3. — Cet article est relatif aux installations à *très basse tension* 50 volts en continu, 24-42 volts en alternatif, qui sont réputées sans danger ; mais elles ne donneraient qu'une sécurité illusoire si elles n'étaient garanties contre toute possibilité d'être soumises accidentellement à une tension plus élevée. L'alimentation des installations à très basse tension par l'intermédiaire de résistances ou d'auto-transformateurs, est interdite, seuls peuvent être utilisés les transformateurs à enroulements séparés.

Art. 4. — Article relatif aux appareils d'interruption ; il précise que lorsque l'emploi des interrupteurs unipolaires

est permis celui-ci doit être placé sur le conducteur de phase ou sur le conducteur principal. Une observation relatée plus loin (voir observation 19) montre le danger de ne couper que le fil neutre.

SECTION II.

Isolement des installations électriques. Mise à la terre.

L'art. 5 stipule qu'en vue d'assurer la sécurité des personnes, l'isolement des installations doit être aussi élevé que possible, il ne s'oppose pas toutefois à la mise à la terre éventuelle des points neutres. Sur une ligne à courant continu parfaitement isolée du sol, il n'y aurait théoriquement aucun danger à toucher un seul conducteur de la ligne, Il en serait de même avec une ligne à courant alternatif triphasé dont le neutre serait parfaitement isolé et qui aurait par rapport à la terre une capacité négligeable.

Dans le cas du triphasé, lorsque le neutre est relié *soigneusement* à la terre, la tension entre un conducteur quelconque et le sol reste limitée à la tension simple, tandis que, si le neutre est isolé du sol et que l'un des fils vienne en contact avec la terre, les deux autres fils sont portés à la tension composée 200 volts au lieu de 115. Pour éviter cette élévation possible de tension, en même temps que celle résultant d'un contact possible avec une installation à plus haute tension ou d'une décharge atmosphérique, l'arrêté interministériel du 20 avril 1927 a prescrit la mise à la terre obligatoire du neutre dans les installations de moins de 250 volts.

Mais le présent décret n'impose cette mesure pour aucune tension, il y a lieu de remarquer en effet que lorsque le neutre est relié à la terre, le courant qui traverse un individu touchant à la fois un fil et le sol, s'obtient en divisant la tension simple par la résistance du corps de l'individu tandis que si le neutre est isolé du sol, le courant dans l'individu est égal au quotient de la tension simple par la somme de la résistance du corps humain et de la résistance d'isolement. Une résistance d'isolement, très médiocre de 30.000 ohms pour chaque fil, suffit à abaisser le courant d'un réseau 250-430 volts, tension la plus élevée de la catégorie B₂ à moins de 25 milliampères, sans tenir compte de la résistance du corps humain et supprime de ce fait tout danger grave.

Donc si l'on préconise l'isolement du neutre, il faut pour assurer la sécurité des personnes réduire l'importance des courants de fuite ; mais ce bon isolement sera d'autant plus difficile à réaliser que la tension sera élevée, le réseau plus étendu et le milieu ambiant plus conducteur et notablement plus humide.

S'il s'agit du courant alternatif la condition de l'isolement n'entre plus seule en jeu ; il faut tenir compte de la capacité du circuit qui pour une ligne de grande longueur peut atteindre des valeurs élevées.

Soit en effet une ligne monophasée sous tension E dont les conducteurs A et B ont respectivement par rapport au sol une capacité C₁ et C₂. Si un homme touche un des conducteurs A, il shunte l'une de ces capacités par la résistance du corps ; il est alors traversé par une partie du courant de capacité correspondant au conducteur avec lequel il n'est pas en contact (fig. 1).

Cherchons la valeur de la tension e , à laquelle l'homme se trouve soumis, différence de potentiel entre le sol et le conducteur A. Supposons e connu, nous pouvons tracer le

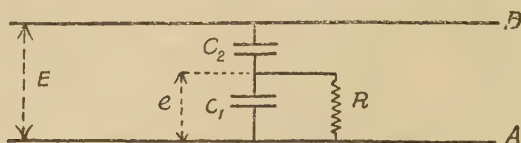
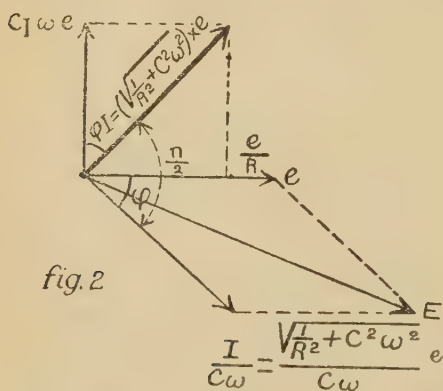


fig 1

diagramme de la fig. 2 Le courant passant dans le condensateur C_1 est $C_1 \omega e$, en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur e . Le courant dans R est $\frac{e}{R}$, en phase avec e . Le courant I , qui passe dans C_2 , est donné par la composition de ces deux courants. Il donne lieu, aux bornes de C_2 , à une tension $\frac{I}{C_2 \omega}$ en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur I et qui, composée avec e , doit donner E .



On déduit facilement de l'examen du diagramme

$$e = \frac{E}{\sqrt{4 + \frac{1}{R^2 C^2 \omega^2}}}$$

La tension e , nulle pour une capacité nulle, est inférieure à $\frac{E}{2}$, mais elle se rapproche d'autant plus de cette valeur que la capacité est plus grande.

Supposons par exemple : $R = 10.000$ ohms

$C = 0,5$ microfarads

$w = 314$ (50 périodes).

$$e = \frac{E}{\sqrt{4 + \frac{1}{(10000 \times 0,5 \times 10^6 \times 314)^2}}} = \frac{E}{\sqrt{4 + \frac{1}{(1,57)^2}}}$$

e ne diffère de E que d'une quantité assez faible. Donc un homme touchant un conducteur d'un réseau monophasé à 10.000 volts, dont la capacité par rapport au sol est de 1/2 microfarad, s'exposerait à une tension de 5.000 volts environ.

De même, pour un réseau triphasé ayant une tension E entre fils, en touchant un conducteur, on s'expose à une tension $\frac{E}{\sqrt{3}}$

Il faut donc prendre les plus grandes précautions au voisinage des conducteurs à haute tension et retenir qu'un bon isolement des installations par rapport à la terre ne met pas l'individu à l'abri du danger.

En fait, dans les conditions ordinaires de la multitude des installations électriques d'utilisation comportant des circuits de faible développement, alimentés par des courants de tensions usuelles, la capacité du circuit étant d'ailleurs restreinte, le bon isolement de l'installation devra être recherché.

Donc le présent décret n'impose la mise à la terre pour aucune tension, mais ne l'interdit pas. Il faut bien remarquer que la mise à la terre du point neutre comme elle est souvent réalisée dans les réseaux publics, crée un danger de mort pour tout individu venant à toucher les conducteurs

d'un réseau à 230-400 volts (réseau qu'on rencontre fréquemment dans les installations rurales), quand la résistance du corps sera inférieure à 5000 ohms, cas qui se présente fréquemment.

Dans tous les cas où de faibles résistances par rapport au sol sont à craindre, par exemple dans les locaux humides, il est préférable d'employer la très basse tension ou de rechercher la sécurité dans un isolement strict et une vérification constante des valeurs d'isolement des phases : un système excellent consiste à vérifier périodiquement la tension existant entre chaque fil et le sol, au moyen d'un voltmètre d'une résistance égale à 2.000 ohms, valeur minimum normale de la résistance du corps humain. Si le courant à la terre est inférieur à 25 milliampères, il n'y a pas de risque grave avec ce réseau.

Mais si l'on a souligné que la mise à la terre du point neutre des circuits secondaires constitue le procédé le plus simple et le plus efficace contre l'irruption de la haute tension sur la base soit par contact, soit plus rarement par charge statique, on doit du moins remarquer que dans les réseaux à neutre isolé, pour parer aux surtensions qui pourraient provenir d'un contact avec une installation à plus haute tension ou de décharges atmosphériques, on branche entre le neutre et le sol un appareil appelé « parasurtension », qui, tout en maintenant le neutre isolé à l'état normal, le relie à la terre en cas de surtension.

Art. 7. — Cet article concerne les pièces métalliques non parcourues par le courant qui peuvent être accidentellement soumises à des différences de potentiel élevées soit par rap-

port au sol, soit par rapport à d'autres masses métalliques et constituer de ce fait un danger si l'on vient à les toucher. Il s'agit ici de contact indirect avec une installation par opposition au contact direct avec des conducteurs sous tension envisagé art. 5.

Contre le risque de contact indirect, 2 moyens :

1°) La mise à la terre de tous les conducteurs voisins des circuits et non parcourus par le courant.

2°) L'isolement des bâtis et pièces conductrices et des personnes.

Le décret prévoit la mise à la terre; la faculté de protection par isolement des machines et appareils est limitativement prévue. En fait, la protection par isolement n'est guère employée que pour les machines à courant continu à haute tension. C'est le système de protection par mise à la terre de tous les objets métalliques entourant les circuits qui est généralement appliqué, il est même imposé à titre exclusif quand il s'agit de locaux fortement conducteurs même pour la subdivision B₁ (art. 21). Il est de même imposé, dans tous les cas, pour les bâtis des machines outils portatives à main (art. 26 alinéa 2).

Art. 8-9. — Ces articles visent la protection des lignes aériennes contre la foudre, ils n'imposent pas l'emploi des limiteurs de tension mais se contentent de fixer les conditions techniques essentielles auxquelles doivent satisfaire les prises de terre et les conducteurs. Ils ne fixent pas de valeurs pour la prise de terre ; il faut tenir compte de la résistivité du sol et quand il s'agit de la protection par mise à la terre de masses métalliques qui ne doivent pas être normalement

sous tension, il y a lieu de se donner comme objectif de réduire suffisamment la résistance de leur connexion au sol, pour que l'intensité du courant de dérivation susceptible de traverser le corps d'une personne, en cas de contact fortuit, ne puisse prendre une valeur dangereuse (25 milliampères en alternatif).

La mise à la terre doit être particulièrement soignée quand les contacts avec les pièces métalliques risquent de se produire, ainsi qu'il est fréquent, par de larges surfaces d'épiderme (poignées et volants de manœuvre, bâtis, etc.), et lorsque le sol est fortement conducteur (locaux mouillés).

SECTION III.

CANALISATIONS.

Art. 11, 12, 13, 14. — Le décret a bien séparé deux notions distinctes de l'isolement : isolement général de l'installation, isolement particulier des conducteurs; l'une des conditions d'un bon isolement général est que les revêtements des conducteurs isolé présentent et conservent une résistance d'isolement suffisante.

Pour la 1^{ière} catégorie, les conducteurs isolés, sont normalement sans danger (voir toutefois observation n° 19). Si les fils sont nus et établis à portée de la main (ex fils de contact de chariots de ponts roulants), il doit exister un dispositif de protection ; il est recommandable que le sectionnement du courant se fasse automatiquement, de façon qu'on ne puisse accéder au voisinage des conducteurs tant que le courant n'est pas coupé.

Les autres prescriptions n'appellent pas d'explications spéciales.

SECTION IV.

Machines, transformateurs, tableaux, appareils, lampes électriques

Les art. 15 et 16 fixent les mesures de protection à observer en ce qui concerne l'installation des machines, transformateurs et appareils de 2ième et 3ième catégories. L'art. 17 fixe des prescriptions nouvelles relatives aux lampes électriques en particulier, il interdit la pratique encore trop répandue qui consiste, suivant les besoins, à nouer ou à dénouer les fils de suspension de la lampe, et qui peut être génératrice d'accidents par l'usure rapide de l'isolant qu'elle provoque ; l'article précise que lorsque les lampes suspendues comportent des réglages en hauteur, il doit être utilisé, à cet effet, un système à contrepoids ou équivalent (suspensions à tirage).

SECTION V.

Les art. 19 à 22 concernent les locaux qui exposent à un risque aggravé et qui par suite nécessitent des précautions supplémentaires, ce sont les locaux à danger d'explosion, les locaux très conducteurs, les locaux dans lesquels la très basse tension doit être obligatoirement utilisée.

Le décret assimile aux locaux très conducteurs, les emplacements de travail à découvert exposés aux intempéries, établis sur un sol humide. Une assez forte proportion d'acci-

dents se produisent sur les chantiers de construction ou autres qui utilisent des moteurs électriques pour pompes, appareils de levage, etc... installations temporaires construites souvent d'une façon négligée. L'art. 21 impose la mise à la terre des bâtis et des masses métalliques même pour les installations de lière catégorie quand elles sont établies dans des locaux très conducteurs. Cette mesure est applicable dans les cuisines pour tout appareil de cuisine électrique d'une puissance supérieure à 1 kilowatt; les cuisines présentent, en effet, des causes d'aggravation du risque électrique (conduites et robinets d'eau, pouvant être touchés simultanément avec le bâti des fourneaux, buées, etc...)

L'art. 20 alinéa 2 rend obligatoire dans les locaux fortement conducteurs pour la manœuvre des appareils électriques, l'isolement des ouvriers par rapport au sol.

L'art. 22 vise le cas où l'emploi de la très basse tension est obligatoire, elle doit être employée quand l'isolement de l'installation ne peut être maintenue à un taux acceptable. Le décret n'a pas fixé la valeur de la résistance d'isolement des installations qui doit être considérée comme insuffisante pour la sécurité des personnes. Le principe est que cette résistance doit être telle que mise en série avec celle du corps humain, elle empêche le courant de fuite d'atteindre une valeur dangereuse. Il suffit comme on l'a dit précédemment de le vérifier avec un voltmètre de résistance connue.

SECTION V.

MESURES A PRENDRE CONTRE L'INCENDIE

Pas de commentaire pour la section VI.

SECTION VII.

APPAREILS AMOVIBLES.

Cette partie du décret vise les appareils amovibles - simplement mobiles ou portatifs — reliés au circuit d'alimentation par une canalisation souple, exemple: petits transformateurs de sécurité, machines outils à main (perceuses, aléseuses, machines à meule et à polir, tournevis, clés de serrage, appareils à roder les soupapes, à détartre les chaudières, etc...), les lampes, appareils de chauffage, aspirateurs, cireuses, etc....

L'art. 26 interdit d'employer tous appareils amovibles sous d'autres tensions que la lière catégorie. Les machines outils portatives sont soumises à un service très dur et maniées sans ménagement et le danger provient de ce que la carcasse et l'enveloppe métalliques, peuvent être mises sous tension par suite d'un défaut d'isolement à l'intérieur de ces appareils. Pour éviter ce danger, le meilleur système consiste à renforcer l'isolement des enroulements et à mettre *automatiquement* le bâti à la terre avant la mise sous tension.

Les lampes baladeuses répondant aux conditions réglementaires doivent remplacer les appareils défectueux.

Les conducteurs souples reliant les appareils mobiles au circuit d'alimentation sont une cause permanente de danger, ils sont exposés à la dénudation et à la rupture des fils, aux points d'insertion dans les appareils et dans les fiches de prise de courant. L'art. 26 fixe les conditions à respecter. Comme on l'a déjà dit dans toute prise de courant, la par-

tie femelle doit toujours être placée du côté du circuit d'alimentation et la partie mâle du côté de l'appareil amovible.

En dépit des mesures imposées, le maniement des appareils portatifs reste dangereux dans tous les cas où les ouvriers se trouvent de par leur travail dans des conditions défavorables au point de vue de la résistance du corps humain ou du contact avec la terre. C'est ainsi que le travail à la perceuse électrique a souvent lieu dans une pièce de chaudronnerie ou sur une charpente métallique qui mettent ordinairement l'ouvrier en contact électrique intime avec le sol; dans le même ordre d'idées, on sait par de trop nombreux accidents dus à l'emploi de lampes baladeuses, au cours de ce travail, combien sont sensibles au choc électrique les ouvriers qui effectuent le nettoyage intérieur des chaudières (voir observation 11); l'expérience enseigne également à quel point l'emploi des machines ou lampes portatives peut être dangereux dans les endroits humides. Dans toutes ces circonstances, seule la très basse tension peut offrir une sécurité complète. C'est pourquoi, l'article 27 dispose que l'emploi des lampes baladeuses et des machines outils à main dans les endroits très conducteurs ne peut avoir lieu que s'il est fait usage de la très basse tension obtenue par des transformateurs à 20 ou 25 volts et dont l'enroulement secondaire est complètement isolé du primaire.

SECTION VIII — Pas de commentaires

SECTION IX

Cette partie traite de la surveillance et de l'entretien des

installations électriques, des travaux à proximité des conducteurs. Les travaux sous tension sont interdits sauf impossibilité d'y procéder autrement; mais le simple remplacement d'une lampe ou d'un fusible pour les tensions de lière catégorie est permis, d'ailleurs normalement ces opérations ne présentent pas de danger, cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas un minimum de précautions élémentaires à observer, afin de prévenir tout risque, il faut en particulier éviter d'effectuer ce remplacement en ayant les mains mouillées ; le mieux du reste est de couper le courant chaque fois que cela est possible ce qui est imposé pour le remplacement d'une lampe ou d'un fusible sur les emplacements extérieurs et dans les locaux très conducteurs.

L'art 37 prescrit divers contrôles et vérifications; on ne saurait trop insister, sur la nécessité d'une vérification systématique du bon état des isolants des conducteurs souples des appareils amovibles, de même que sur la vérification périodique des prises de terre et du maintien d'un isolement aussi élevé que possible de l'installation.

SECTIONS X - XI.

Pas de commentaire.

Informations documentaires

— *Bulletin* n° 29 Juillet 1937 (1) page 265 - Statistique des accidents d'électrocution en 1924, en France: 104 tués par le courant électrique dont 15 par la basse tension; 48 blessés dont 13 par la basse tension.

(1) Bulletin des associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur (voir bibliographie).

— *Bulletin* n° 38 Octobre 1929 (1) - Prévention des accidents électriques par l'affiche par M. V. Kammerer.

— *Bulletin* n° 46 Octobre 1931 (1) - L'appareillage électrique comme cause d'accidents dans les installations industrielles et électriques par M. V. Kammerer - 346 accidents électriques survenus de 1903 à 1929 dans les installations industrielles et électriques, déclarés à l'Inspectorat de l'Association suisse des Electriciens, dont 155 ont entraîné la mort et 191 des blessures.

Accidents occasionnés par des	Professionnels		Non professionnels		TOTAL	
	tués	blessés	tués	blessés	tués	blessés
Coupe-circuits	1	2	3	4	4	6
Interrupteurs	3	18	10	46	13	64
Prises de courant . . .	—	3	21	10	21	13
Conduites	—	3	10	9	10	12
Appareils d'éclairage . .	1	10	45	31	46	41
Moteurs ,	6	7	46	36	52	43
Récepteurs divers . . .	—	3	9	9	9	12
					155	191

Coupe-Circuits (4 tués et 6 blessés) - pour les accidents suivis de mort, 3 sur 4 sont survenus dans des locaux humides ou mouillés, et dans 3 des cas également, la tension était supérieure à 250 V contre terre.

Interrupteurs (13 tués et 64 blessés) - les blessures sont des brûlures par suite de formation d'arcs. Les accidents mortels sont presque tous dus à des contacts avec des pièces sous tension,, soit que l'appareil ait été lui-même défectueux (8 tués et 9 blessés) soit qu'il ait été manipulé par inadvertance et sans les précautions nécessaires (5 tués et 10 blessés). Les petits interrupteurs rotatifs n'ont donné lieu qu'à 4 accidents dont un seul mortel, qui est dû à ce que, pour manœuvrer un interrupteur dont la manette était cassée, la victime avait saisi l'axe au moyen d'une pince. Cinq des accidents ont eu lieu dans des locaux secs et les 8 autres dans des locaux humides ou mouillés, et dans 8 cas la tension était supérieure à 250 V.

Prises de courant. (21 tués et 13 blessés. En général, la tension était inférieure à 250 V contre terre et 5 électrocutions mortelles et 2 blessures seulement sont survenues sur des réseaux de tension supérieure. Enfin, il convient de signaler que pour 2 accidents, dont 1 mortel, le sol était isolant et sec et que dans tous les autres cas, il était soit conducteur, soit humide.

Conduites intérieures (10 tués et 12 blessés). La plupart des accidents sont dus au contact avec des parties dénudées, la tension inférieure à 250 V, dans tous les cas les victimes étaient placées sur un sol conducteur ou mouillé.

Appareils d'éclairage (46 tués et 41 blessés). La plupart des accidents causés par des lampes mobiles (37 tués et 20 blessés) et dans 33 cas (24 tués et 9 blessés) par une lampe mobile formée d'une simple douille ordinaire métallique fixée à un cordon. Tous les accidents ont eu lieu à des tensions in-

férieures à 250 V et dans tous les cas mortels, le sol était conducteur et mouillé.

Moteurs (52 tués et 43 blessés) souvent par des appareils mobiles ou transportables (18 tués et 15 blessés), mais le plus grand nombre d'accidents (20 tués et 14 blessés) avec des moteurs de ponts roulants et notamment aux lignes de contact qui les alimentent. Il y a eu 29 tués et 20 blessés par une tension en dessous de 250 V et 23 tués et 23 blessés par une tension supérieure.

Récepteurs divers (9 tués et 12 blessés) comprennent surtout les appareils de chauffage. On peut répartir les accidents comme suit : Pour les appareils de chauffage des locaux, on compte 4 tués et 6 blessés ; dans 3 des cas mortels, il y avait un isolement défectueux et il y a eu contact des pièces sous tension ; dans un cas, il s'est produit un incendie avec suites mortelles. Les appareils de cuisson n'ont donné lieu qu'à 3 accidents (1 tué, cordon souple en mauvais état et 2 blessés). Les coussins chauffants ont causé la mort de 3 enfants par brûlures graves. Les fers à repasser n'ont occasionné qu'un seul accident non mortel et les machines électriques 4 accidents, dont un mortel. Tous les accidents mortels, sauf un (machine à souder), ont eu lieu à une tension inférieure.

OBSERVATIONS

Observation 1. rapportée par Brouardel dans son livre : Les blessures et les accidents du travail. Mort de 2 jeunes gens par du courant alternatif de 500 volts.

Observation 2. rapportée par le Docteur Fleury de Versailles à la société de médecine légale de France. Mme C..., âgée de 35 ans, meurt dans son bain en touchant une sonnette électrique dont les fils conducteurs étaient en contact avec un réseau de distribution à 110 V.

Observation 3. rapportée par Brouardel dans son livre : Les blessures et les accidents de travail. Mort d'un ouvrier travaillant nu dans une chaudière tenant une lampe baladeuse alimentée par du 110 V.

Observation 4. publiée par Jellinek. Electrocution d'une jeune fille dans une baignoire par un courant de 110 V.

Observation 5. rapportée par Cappello et Pellegrini. Le cuisinier d'un navire grec, H..., âgé de 28 ans, retournait à son bord à 10 heures du soir ; pour éviter des flaques d'eau amassées sur le quai, il dut faire un léger détour et buta dans les fils conducteurs d'un courant actionnant une grue électrique. Les fils étaient mal isolés, H... ne put se libérer seul du contact, ses amis accoururent à ses cris. Il mourut

peu après. Le courant en cause était un *courant alternatif de 46 volts*.

A l'autopsie: brûlures électriques, lésions de néphrite chronique.

Observation 6. Thèse: « Le danger des courants électriques de faible tension. » On connaît un exemple d'électrocution par un courant continu de 90 volts; en pareils cas les brûlures électriques font généralement défaut (Paul Chapuis Thèse 1919. Paris).

Observation 7. du Professeur Balthazard et Dervieux (Annales de Médecine Légale de Janvier 1924). Un sieur C..., âgé de 36 ans, occupé dans une cave très humide à crépir un mur meurt par du courant alternatif de 110 volts, en touchant une lampe baladeuse.

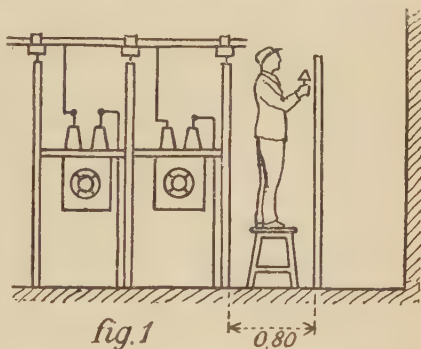
Observation 8. du Professeur Balthazard et Dervieux (Annales de Médecine Légale de Janvier 1924). Mort d'une femme qui étant dans un bain veut mettre la prise de courant d'un radiateur électrique, alimenté par du 110 V. alternatif.

Observation 9. « Bulletin 54, Octobre 1933 ⁽¹⁾ page 242. » Accident qui s'est produit derrière le tableau de distribution d'une salle de machine d'extraction d'une exploitation du Haut-Rhin. Ce tableau se compose d'un panneau portant les appareils de mesure et les volants de manœuvre et, à l'arrière, de celui-ci dans un espace clos et accessible seulement par une porte fermée à clé, d'un certain nombre de cellules séparées par des cloisons en béton, dans lesquelles sont disposés des disjoncteurs. Au-dessus des cloisons de ces cellules cou-

(1) Bulletin des associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur.

rent les 3 barres de distribution à 5.000 V. Les 2 cellules extrêmes du poste, qui n'étaient pas encore utilisées, devaient être pourvues de nouveaux disjoncteurs et pour les aménager à cet effet, on chargea un ouvrier d'en plâtrer le parois. Cet ouvrier effectua le travail en se servant pour les parties les plus hautes d'un escabeau en bois (voir fig. 1) ce qui mit sa tête à la hauteur des barres de distribution dont l'extrémité de l'une dépassait de 7 à 8

cm. la cloison. A un moment donné, soit par un faux mouvement, soit par ignorance du danger, cet homme, effleura de la tête l'extrémité de la barre, fut renversé et projeté du côté du mur. C'est certainement grâce à l'interposition et à l'effet d'isolement du ta-



bouret en bois qu'il eut la vie sauve et qu'il s'en tira avec de fortes brûlures à l'arrière de la tête.

Observations 10. « Bulletin » n° 11. Janvier 1923 ⁽¹⁾. Du danger de toucher les ampoules à incandescence lorsqu'elles sont malpropres. A Vienne le 21 Mai 1921, une femme vaquant, pieds nus, à des travaux de nettoyage dans une chambre qui venait d'être blanchie à la chaux, ayant touché l'ampoule d'une lampe électrique portative avec des mains humides alimentée par le secteur de Vienne 220 V - fréquence 48, a été électrocutée. La nature des plaies à la main qui avait touché la lampe, ainsi que les constatations médicales ont indubitablement prouvé l'électrocution. Jellinek constata qu'une

couche de chaux partant de la douille métallique s'étendait sur l'ampoule jusqu'à une distance de 5 cm. sur une largeur de 2 à 3 mm. et prouva que ce dépôt quand il était humide, avait pu mettre la main de la femme en contact avec une tension notable et il entreprit diverses expériences qui confirmèrent l'hypothèse. Toutefois, il ne faut pas oublier que tout ce qui précède ne s'applique qu'aux lampes à culot à vis et que les lampes à baïonnette, qui sont beaucoup plus répandues en France que les ampoules à vis, ne présentent pas ce même danger ou ne peuvent le présenter qu'à titre exceptionnel, puisque le culot et la douille ne sont pas normalement sous tension.

Observation 11. « Bulletin » n° 9. Juillet 1922 (1). Electrocution lors du nettoyage d'une chaudière. Le 24 Janvier 1922, dans une filature à Fives-Lille, un nettoyeur de chaudières venait de pénétrer, le torse nu, une lampe électrique baladeuse à la main, dans un bouilleur d'une chaudière semi-tubulaire, lorsque, soudain, il poussa un cri et demanda que l'on coupât le courant. Ceci fut fait immédiatement et l'on retira aussitôt la victime du bouilleur, mais toutes les tentatives furent vaines et les médecins appelés en toute hâte ne purent que constater la mort.

La lampe baladeuse dont se servait la victime était une lampe ordinaire à douille non protégée, dont le fil était de qualité médiocre, mais sans présenter de parties franchement dénudées. Le courant était alternatif à 110 volts. L'ampoule a été retrouvée entière, mais détachée du culot. Celui-ci et la douille à laquelle il était resté attaché étaient recouverts de boue provenant du fond du bouilleur et qui a pu établir le contact.

Observation 12. « Bulletin » n° 18. Octobre 1924 ⁽¹⁾. Encore des accidents électriques à basse tension.

Aix-en-Provence, 22 septembre 1924. Deux soldats du 22^e Régiment d'infanterie coloniale, Jean Mariani, 26 ans et Paul Renon, 21 ans ont été électrocutés en maniant les fils d'éclairage électrique d'une chambre de la caserne où ne circule pourtant qu'un courant de 127 V.

Nîmes, 23 septembre 1924. M. Casanove Raymond, âgé de 39 ans, boulanger, occupé à son travail, voulut examiner son four. Il saisit une lampe électrique baladeuse alors qu'il avait les peids posés sur une plaque de fer mouillée et fut électrocuté immédiatement.

Choisy-le-Roi, 25 septembre 1924. Hier soir, dans une usine de verre, voie des Roses, M. Amar Sassé, manœuvre, 41 ans, a été trouvé mort dans la chaufferie. Il avait sous le bras une lampe électrique du genre baladeuse et portait des brûlures à l'aisselle.

Observation 13. « Bulletin » n° 14. Octobre 1923 ⁽¹⁾ page 243. Accident dû au passage de la haute tension sur la basse tension. Accident survenu en 1909 à Olginate, village italien des bords du lac de Côme, où vingt-cinq personnes ont trouvé la mort par suite du passage de la haute tension sur un réseau à basse tension. Ce village comportait une distribution électrique alimentée par un poste de transformation, qui abaissait de 3500 volts à 110. Dans la cabine du transformateur la ligne à H. T. et le départ de la B. T. étaient pourvus chacun de parafoudres reliés, comme cela doit être, à des prises de terres différentes. Toutefois, pour mettre à la terre la carcasse du tableau de distribution, sans faire une nouvelle prise de terre, on avait, sans en prévoir les conséquences, utilisé

les 2 prises de terre des parafoudres de haute et basse tension, qui se trouvaient ainsi reliées entre elles. Il a suffi d'une surtension atmosphérique comme il s'en produit couramment dans tous les réseaux et d'une décharge un peu violente, pour fondre un parafoudre de la B. T. et endommager un autre de la H. T., en mettant ainsi le réseau à basse tension en communication directe avec le réseau à H. T. Cette surtension dans le réseau d'éclairage n'a duré que peu d'instants jusqu'à la fusion des coupe-circuit de la ligne à haute tension, mais ces quelques moments ont suffi pour causer la mort de vingt-cinq habitants qui, voyant s'allumer brusquement leurs lampes en plein jour, ou apercevant des coups de feu sur leur canalisation, s'étaient précipités sur les interrupteurs, presque tous à couvercle métallique, pour interrompre le courant.

Observations 14. rapportées par M. Issarte, Ingénieur des Ponts et Chaussées. Cours de dangers des courants électriques. Ecole des Travaux Publics, 14a. Le 16 Juin 1925, à Venice (Alpes-Maritimes), M. H... procédait dans son garage, à la réparation d'une voiture automobile. A cet effet, il s'était assis sur l'arbre de transmission de la voiture; ses pieds reposaient sur un sol en terre battue humide. Il s'éclairait au moyen d'une lampe « baladeuse » courant 110 volts. Le cordon de la lampe, qui reposait sur la voiture, présentait une surface d'assez petite dimension avec un défaut d'isolement. Le courant dut passer ainsi dans le sol par l'intermédiaire de la voiture et du corps de M. H...; celui-ci fut trouvé mort dans la soirée. On constata des brûlures à sa main gauche, à une jambe, à son dos, qui était appuyé sur les pièces métalliques

de la voiture (isolée par les roues en caoutchouc), et à la plante du pied gauche.

14b. Le 22 Août 1925, un isolateur ayant claqué à la suite d'un orage sur le sectionneur du poste alimentant le hameau de Lachat, commune de Ruffieux (Savoie), une légère sur-tension s'était produite sur le réseau basse tension. M. A..., âgé de 25 ans, ayant aperçu quelques étincelles dans son écurie, porta la main à l'interrupteur, et fut foudroyé. L'interrupteur était disposé sur un mur extrêmement humide; le sol de l'écurie, imprégné de purin était également très humide; enfin la victime avait remplacé elle-même le bouton de l'interrupteur, détérioré, par un bouton en bois qui ne présentait certainement pas des conditions d'isolement suffisantes.

14c. Le 29 Novembre 1925, vers 19 h. 30, M. S..., âgé de 26 ans, habitant le hameau de Glandieu, commune de Bregnier-Cordon (Ain), voulant sortir dans sa cour, prit à la main, pour s'éclairer une lampe dite « baladeuse » constituée par une simple ampoule fixée dans une douille. La cour était très humide. L'isolement de la lampe n'étant vraisemblablement pas très bon, et l'humidité ayant provoqué une excellente mise à la terre de l'installation par l'intermédiaire du corps de M. S..., celui-ci fut électrocuté ; les soins qui lui furent donnés ne purent le rappeler à la vie.

.. *Observation 15.* Accident Legai André, manœuvre à l'usine St Frères, à Saint-Ouen (Somme). Le 21 octobre 1936 L..., occupé au montage d'un transformateur au poste de transformation de l'usine, passe par mégarde près de la H. T. (15000 volts), tombe sans connaissance pendant 15 minutes. Relevé, il présente à droite une plaie au poignet, au coude, au thorax sur la ligne axillaire, à la cuisse et à gauche, une large

brûlure sur le bord externe du pied gauche. La durée du choc nerveux a été de 8 jours, le malade n'a pu s'alimenter; la température qui était de 39°5 le jour de l'accident, n'est redevenue normale que le 30^e jour. Le 10 Février 1937, toutes les plaies sont cicatrisées, seul subsiste l'escharre de 10x10 cm., au bord externe du pied gauche, on aperçoit le péroné; une greffe épidermique, faite en Janvier, n'a pas donné de résultat.

Observation 16. Accident. Journal Henri, âgé de 7 ans de Beauquesne (Somme). Le 3 septembre 1935, des enfants jouaient près du poste de transformation de la commune. L'un d'eux le jeune J... ayant eu la malencontreuse idée d'engager une tige de fer à travers la paroi de la cabine du poste, touche la H. T. (15.000 V.). L'enfant tombe, relevé peu après, il est fortement brûlé au bras droit. Le docteur V... qui a vu le blessé, considère le bras perdu.

Observation 17. Accident Madame Lenglet-Daveluy, boulangère à Louvencourt (Somme), âgée de 44 ans, mère de 5 enfants. Pour éviter la pose d'une lampe supplémentaire, une prise de courant avait été installée sous l'entrée cochère de la maison pour éclairer à l'aide d'une baladeuse (type non réglementaire : lampe avec fil souple quelconque) soit la cave, soit la buanderie. Le sol de ces pièces en terre battue est toujours très humide. Or, le 4 Décembre 1931, Mme L... était occupée à sa lessive dans la buanderie. Elle a été trouvée électrocutée à 18 h. 10 couchée sur sa lessiveuse tenant en main la baladeuse de fortune ; Mme L... n'est restée que quelques minutes en contact avec le courant car à 18 h. 02 il y eut une interruption de courant et Mme L... a été vue recherchant une

lanterne. Le Docteur C... arrivé vers 18 h. 45 n'a pu rappeler à la vie Mme L...

Observation 18. Accident mortel. Lerouge Ferdinand, âgé de 21 ans, manœuvre à l'entreprise Ficheux d'Achiet-le-Grand (P. de C.) Occupé le 4 Août 1932, au dégagement d'une sape de 6 mètres de profondeur, L... travaillant en bras de chemise dans un des puits d'accès de la sape éclairé par une lampe baladeuse alimentée par de l'alternatif 110 V., quand par suite d'une panne fortuite, il saisit la lampe, restant appuyé contre les parois du puits. Il tombe électrocuté. La victime portait des traces de brûlures aux mains.

Observation 19. Accident mortel Vermandel Georges, âgé de 26 ans, sous-officier à l'Ecole d'application des chars de Combat de Versailles, en permission à Lucheux (P. d. C.) et sa femme née Suzanne Mort, âgée de 26 ans. Le dimanche 27 Décembre 1931 V... veut installer une antenne de T. S. F. (fil de cuivre nu étamé) entre deux bâtiments d'une ferme en passant au-dessus d'une ligne lumière 110 V. en fil isolé 9/10 alimentant une étable. Il avait auparavant enlevé un des deux coupe-circuits protégeant la ligne. Ayant fixé à des isolateurs l'une des extrémités du fil d'antenne, il jette l'autre extrémité enroulée sur un morceau de bois au-dessus de la ligne lumière 110 V., placé pour cette manœuvre sur un tas de fumier au centre de la cour ; il ne réussit qu'à mélanger le fil d'antenne et la ligne et en voulant dégager l'antenne il la saisit fortement et par des tractions arrive à détruire l'isolement du fil lumière resté sous tension ; il tombe électrocuté. A ses cris, sa femme accourt pour lui porter secours et reste aussi en contact avec lui ou avec le fil d'antenne. Malgré les soins donnés

par le Dr. P... arrivé presque immédiatement, V... ne peut être rappelé à la vie ; sa femme ne présente que des brûlures à la jambe droite.

CONCLUSIONS

Les courants électriques sont maintenant utilisés dans toutes les manifestations de la vie moderne : éclairage, force motrice, traction, électrochimie, chaleur, etc.... Le risque électrique existe partout à la ville comme à la campagne, à la maison comme à l'atelier ; les accidents par l'électricité ont pour causes principales non seulement l'ignorance du public mais aussi l'insouciance des ouvriers des distributions, qui ont souvent une tendance naturelle à jouer avec le risque que présentent les canalisations électriques.

Il est donc indispensable pour que le nombre des accidents d'ordre électrique diminue que soit répandue de plus en plus, parmi le public et les ouvriers cette notion que *tous les courants électriques sont dangereux*.

L'accident électrique est particulièrement dramatique et impressionnant ; il est aussi au premier abord déconcertant. Ici, un contact avec un conducteur de basse tension et la mort devient foudroyante. Là, au contraire, le contact a lieu avec un courant de plusieurs milliers de volts et la victime se relève à peu près indemne. Dans certains cas, aucune action extérieure ne manifeste le passage du courant ; néanmoins la mort a été instantanée ; dans d'autres cas, au contraire, les parties du corps en contact avec les conducteurs électriques portent

de vastes eschares, parfois les brûlures sont si profondes que les os sont à découvert, de véritables amputations ont même pu en résulter et la victime est vivante...

On oublie trop souvent que la tension du courant n'est pas le seul élément du danger et que, lorsque par des circonstances défavorables, comme grande surface de contact, humidité de la peau, des chaussures et des vêtements, la résistance du corps humain se trouve réduite, des tensions même très faibles peuvent donner lieu à des courants suffisants pour occasionner la mort.

On a rappelé en particulier au cours de l'exposé, le grand risque de se servir de lampes électriques pour les visites et nettoyages des chaudières, surtout avec le courant alternatif; il faut ou bien renoncer complètement aux lampes électriques ou ne brancher celles-ci que sur des transformateurs à 20 ou 25 volts et dont l'enroulement secondaire est complètement isolé du primaire.

Nous avons analysé les prescriptions que le décret a édictées en vue d'assurer la sécurité des personnes et de diminuer le risque électrique, en particulier :

— les dispositions à prendre pour empêcher le contact direct avec des conducteurs sous tension ;

— celles qui assurent un isolement élevé de l'installation ou lorsque ceci n'est pas possible, qui limitent la valeur de la tension ;

— enfin celles qui parent aux dangers de contact indirect soit par l'isolement des personnes, soit par la mise à la terre de toutes les pièces ou objets métalliques qui entourent les conducteurs de courant.

Néanmoins, il ne faut pas traiter en quantité négligeable

le danger des courants électriques et nous serions heureux que ce travail pût contribuer à le faire mieux connaître, et par les réflexions et précautions qu'il suggérera, à diminuer le nombre des accidents.

Vu: Le Doyen,
G. ROUSSY

Vu: le Président de la Thèse,
BALTHAZARD.

Vu et permis d'Imprimer:
Le Recteur de l'Académie de Paris,
S. CHARLETY.

BIBLIOGRAPHIE

- Dr WEISS. — Sur les effets physiologiques des courants alternatifs.
- Paul CHAPUIS — Le danger des courants électriques de faible tension (Thèse Paris 1919).
- CHAMPION — La résistance électrique du corps humain (Thèse Lille 1923).
- M. ISSARTE — Cours de dangers des courants électriques (Ecole Supérieure des Travaux Publics).
- A. MAUDUIT. — Protections obtenues et dangers occasionnés par les diverses mises à la terre dans les réseaux à basse et à haute tension.
- D^r A. ZIMMERN — « Accidents de l'électricité ».
- D^r Stephan JELLINEK — « Les accidents dus à l'électricité ».
- W. B. KOUWENHOWEN et O. R. LANGWORTHY — « Troubles physiologiques provoqués par le contact avec les circuits électriques. »
- Bulletins des Associations françaises de propriétaires d'appareils à vapeur* (voir renvoi ⁽¹⁾ du texte).
- Presse Médicale* n° 53, du 14 Juillet 1928 et n° 74 du 14 septembre 1935.
- Décret* du 4 Août 1935 du Ministère du travail concernant la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques.